

10/50/62/

FLIER US/USO+5

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 09 MAY 2003

WIPO

PCT

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung



Aktenzeichen:

102 13 731.5

Anmeldetag:

26. März 2002

Anmelder/Inhaber:

Heidelberg Instruments Mikrotechnik GmbH,
Heidelberg, Neckar/DE

Bezeichnung:

Verfahren und Vorrichtung zur Lichtmodulation

IPC:

G 02 F 1/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 31. März 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Faust



REBLE & KLOSE
RECHTSANWÄLTE · PATENTANWÄLTE

Patentanwälte
DIPL.-ING. MEINRAD SCHMITT
DIPL.-PHYS. HANS KLOSE
DIPL.-ING. WOLF-DIETER FISCHER
DIPL.-PHYS. WOLF KESSELHUT

Rechtsanwälte
DR. GERHARD REBLE
CHRISTIAN SCHULTZE
DR. JOHANN OSSING
DR. HELMUT-THOMAS KILPPER
DR. RALF-DIETMAR HÄRER
DR. CLAUD WEBER (Dipl.-Betriebswirt BA)
MICHAEL BLECHER

Patente und Marken
Postfach 12 15 19
D-68066 Mannheim
Telefon 0621 - 41977-50 /-54
Telefax 0621 - 41977-88
E-Mail info@rebleklose.de

Anmelderin:

Heidelberg Instruments Mikrotechnik GmbH
Tullastrasse 2
D-69126 Heidelberg

Verfahren und Vorrichtung zur Lichtmodulation

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Lichtmodulation gemäß der im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 angegebenen Merkmale. Ferner bezieht sich die Erfindung auf eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Zur Modulation und Schaltung von Licht wurden unterschiedliche Techniken entwickelt, die jeweils andere physikalische Effekte ausnutzen. Die bekanntesten und wichtigsten Methoden sind Flüssigkristalle, wie Liquid Crystal Displays (LCD) oder Ferroelectric Liquid Crystal Displays (FLCD), Mikrospiegel (einzeln und Matrix), elektro- und akustooptische Modulatoren (Kerr- und Pockelszelle, AOM) sowie elektrophoretische Displays. In elektrophoretischen Displays befinden sich die geladenen Teilchen bei in einer Suspension, das heißt sie schwimmen in einer elektrisch isolierenden Flüssigkeit.

Mit dem vorgeschlagenen Verfahren kann das Licht einer beliebigen Quelle und Wellenlänge, insbesondere auch das kohärente, parallele Licht eines Lasers, moduliert, das heißt in seiner Intensität verändert werden. Dazu wird das Licht in die hier beschriebene und im Folgenden auch als "Modulationszelle" bezeichnete Apparatur oder Vorrichtung eingekoppelt. Dieses Einkoppeln kann je nach Lichtquelle und Anwendung eine unter-

schiedliche Optik erfordern. Gemäß des Verfahrens bewegen sich geladene Teilchen einem Gas oder auch im Vakuum und erzeugen ein sogenanntes "granulares Gas". Solch ein granulares Gas, welches im wesentlichen eine homogene Wolke aus Pulverteilchen (Nebel) ist, läßt sich auf unterschiedliche Weise erzeugen. Zum Beispiel durch Vibration eines Pulvers, durch Einblasen eines Gases in ein Pulver oder, wie im vorliegenden Fall, durch äußere elektrostatische Kräfte, die auf die elektrisch geladenen Pulverteilchen wirken. Innerhalb der Zelle wird dann die Lichtintensität durch das kontrollierte granulare Gas moduliert. Das aus der Zelle austretende Licht wird je nach Anwendung durch eine Optik abgebildet. Die Lichtmodulation erfolgt erfindungsgemäß mittels des kontrollierten granularen Gases.

Abhängig vom genauen Aufbau der Modulationszelle können ein einzelnes Lichtbündel, Teile davon oder auch mehrere Lichtbündel parallel moduliert werden. Als Lichtbündel wird dabei das in die Modulationszelle eingestrahlte Licht bezeichnet, welches sowohl ein Laserstrahl als auch das kollimierte und / oder fokussierte Licht einer beliebigen anderen Lichtquelle sein kann. Durch diese Modulation des Lichtes läßt sich die Apparatur zum Beispiel als variabler, schnell schaltbarer Graufilter verwenden, der ein ganzes Lichtbündel oder Teile davon abschwächt. Insbesondere ist es auch möglich, ein ausgehntes Lichtbündel in Pixel zu unterteilen und diese Pixel einzeln zu modulieren (siehe auch Abbildung 3), wodurch sich ein sogenannter "Spatial Light Modulator" (SLM) realisieren läßt.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der in der Zeichnung dargestellten besonderen Ausführungsbeispiele näher erläutert, ohne daß insoweit eine Beschränkung erfolgt.

Wie aus Abbildung 1A zu ersehen, befinden sich bei der grundlegenden Modulationszelle zwei Elektroden 1, 2 im Abstand z voneinander. Im Zwischenraum der beiden Elektroden befindet sich ein elektrisch geladenes Pulver 5 und ein beliebig dichtes Gas beziehungsweise ein Vakuum. Abhängig von der Art des Pulvers sind die Elektroden mit einer optionalen elektrisch isolierenden Schicht 3, 4 der Dicke d_1 bzw. d_2 überzogen, wie nachfolgend noch erläutert wird. Bei einer angelegten Spannung U_0 zwischen den Elektroden 1, 2 haften die Pulverteilchen an den Isolierschichten. Das zu modulierende Licht der Intensität I_0 fällt seitlich in die Zelle ein und durchquert diese ungehindert.

Wird nun gemäß Abbildung 1B eine geeignete, zeitlich variierende Spannung U_1 zwischen den beiden Elektroden angelegt, so entsteht ein elektrisches Feld ($E=U_1/z$), welches bei ausreichender Feldstärke die geladenen Pulverteilchen in Bewegung versetzt und sie in Richtung der anderen Elektrode bewegt. Dabei bewegen sich die Teilchen nicht synchron, da sie durch eine unterschiedliche Kraft an den Elektroden haften, das heisst die Pulverteilchen beginnen zu unterschiedlichen Zeitpunkten mit der Bewegung. Bei passender Frequenz der Spannung U_1 bewegen sich die Teilchen zwischen den Elektroden hin und her, wechselwirken miteinander und erzeugen so ein granulares Gas 6. Dabei wirkt durch das elektrische Feld auf die Teilchen die Kraft $F=(U_1*Q)/z$ und sie erfahren durch diese Kraft eine Beschleunigung $a=F/m$, wobei Q die Ladung und m die Masse eines Pulverteilchens ist. Für die Frequenz der Spannung U_1 gibt es eine Obergrenze, ab der sich kein homogenes granulares Gas mehr zwischen den Elektroden erzeugen lässt, da die Pulverteilchen zu träge sind und in dem schnell wechselnden elektrischen Feld nur noch einen Bruchteil der Strecke z zurücklegen. Diese Grenzfrequenz ist abhängig vom Abstand der Elektroden z , sowie der Masse und Ladung der Pulverteilchen.

Wird ein granulares Gas erzeugt, wird das einfallende Licht von den Pulverteilchen absorbiert/gestreut und von der einfallenden Intensität I_0 kann nur ein Bruchteil $I_1 < I_0$ die Zelle durchqueren. Das Verhältnis von I_1 zu I_0 ist dabei abhängig von der Länge der Strecke, die das Licht durch das granulare Gas zurücklegt, sowie der Dichte und Streubeziehungsweise Absorptionsfähigkeit des granularen Gases. Der Extinktionskoeffizient des granularen Gases und die Geschwindigkeit, mit der es sich aus den ruhenden Pulverteilchen erzeugen lässt (Schaltgeschwindigkeit), ist unter anderem abhängig von der Stärke und dem zeitlichen Verlauf der angelegten Spannung, sowie dem Material, der Ladung und der Größe der einzelnen Pulverteilchen. Die Schaltgeschwindigkeit erhöht sich dabei mit abnehmender Masse und zunehmender elektrischer Ladung der einzelnen Teilchen, das heißt mit Zunahme des Quotienten aus Ladung und Masse Q/m . Ebenso erhöht sich die Schaltgeschwindigkeit mit der Stärke des elektrischen Feldes zwischen den Elektroden, also mit steigender Spannung U_1 oder sinkendem Abstand z .

Das geladene Pulver ist aufgrund der elektrischen Abstoßungskräfte bestrebt, einen möglichst großen Abstand zwischen die einzelnen Pulverteilchen zu bringen und sich über die Grenzen der Zelle hinaus auszudehnen. Da Teilchen, die sich nicht zwischen den Elektroden befinden, jedoch nicht mehr bewegt werden können muß diese Aus-

dehnung verhindert werden. Dies geschieht durch die Wahl des elektrischen Feldes, welches so geformt wird, dass es diese Ausdehnung verhindert.

Ein elektrisches Feld, das das Pulver auf den Raum zwischen den Elektroden beschränkt, lässt sich durch die Aufteilung der Elektroden 1, 2 in Abb. 1) in mehrere Einzelelektroden realisieren, welche sich unabhängig voneinander mit einer Spannung belegen lassen und im Folgenden als Steuer- und Begrenzungselektroden bezeichnet werden. Die Steuerelektroden dienen zur Erzeugung (An- und Abschalten) des granularen Gases, und die Begrenzungselektroden erzeugen eine Potentialbarriere und verhindern, dass die Pulverteilchen die Modulationszelle verlassen. Dabei gibt es eine unüberschaubare Zahl von Möglichkeiten die Form, Zahl und Position der Steuer- und Begrenzungselektroden zu variieren. Die genaue geometrische Anordnung ist abhängig von der Anwendung und der benötigten Lichtmodulation. Insbesondere muß die Geometrie der oberen Elektrode 1 nicht identisch mit der Geometrie der unteren Elektrode 2 sein.

Die Abbildung 2 zeigt als Beispiel die einfachste Zelle dieser Art, bei der die obere und untere Elektrode jeweils aus einer Steuer- und einer Begrenzungselektrode bestehen, welche in diesem Fall rechteckig sind, aber wie erwähnt, je nach Anwendung jede beliebige Form haben können (Polygon, Ellipse). Die Elektroden 7 und 8 beziehungsweise 9 und 10 sind durch einen Abstand d getrennt und in diesem Fall sind alle von einer elektrisch isolierenden Schicht 11 bedeckt. Die Steuerelektroden 7, 9 dienen zur Erzeugung des granularen Gases und die äußeren Begrenzungselektroden 8, 10 sorgen dafür, dass die Pulverteilchen 12 die Modulationszelle nicht verlassen können. Ist zum Beispiel das Pulver positiv geladen, wird dies erreicht, in dem die Begrenzungselektroden positiv gegenüber der Steuerelektroden geschaltet sind, das heißt $U_4 > U_3$ und $U_6 > U_5$. Durch passende Wahl der Spannungen U_{3-6} , die zeitlich und untereinander variieren, wird somit ein granulares Gas 12 erzeugt, das im Wesentlichen auf den Raum zwischen den Steuerelektroden 7, 9 beschränkt ist.

Als weiteres Beispiel sei die einfachste Form eines SLM gegeben, das heißt einer Modulationszelle, die aus einer Reihe von einzelnen Pixeln besteht, die unabhängig voneinander Teile eines Lichtbündels modulieren können. Man könnte eine beliebige Anzahl von Zellen wie in Abbildung 2 nebeneinander setzen, aber ein SLM lässt sich auch wie in Abbildung 3 realisieren. Die Zelle besteht in diesem Fall aus acht Pixeln (theoretisch aber aus beliebig vielen), die sich über die Steuerelektroden 13 einzeln ein-

und ausschalten lassen. Die untere Steuerelektrode 14 ist in diesem Fall eine durchgehende Fläche, kann aber je nach Anwendung auch in mehrere Steuerelektroden aufgesparten werden oder geometrisch identisch zur oberen Steuerelektrode sein. Die Begrenzungselektroden 15, 16 dienen wiederum zur Eingrenzung des granularen Gases 17 auf die Zelle. Jede dieser Elektroden kann unabhängig voneinander mit einer Spannung belegt werden, wodurch sich das granulare Gas 17 in jedem Pixel schalten läßt. Dadurch kann das Licht, welches die Zelle in der y-Richtung durchquert, in jedem einzelnen Pixel unabhängig moduliert werden. Je nach Anwendung und gewünschter Lichtmodulation können bei einem solchen SLM auch einige oder alle der Elektroden in y-Richtung unterteilt werden. Ebenso ist der Abstand der Elektroden untereinander und deren geometrische Form von der gewünschten Lichtmodulation abhängig.

In den bisherigen Beispielen waren die Elektroden auf zwei Ebenen in der vertikalen Richtung beschränkt, dies ist aber nicht notwendigerweise so. Man kann zum Beispiel eine vollkommen gekapselte Modulationzelle bauen, in der die Begrenzungselektroden nicht horizontal, sondern vertikal ausgerichtet sind. In Abbildung 4 ist ein Schnitt durch eine solche Zelle zu sehen. Die Steuerelektroden 18, 19 erzeugen das granulare Gas aus dem Pulver 20, und die Begrenzungselektroden 21, 22 verhindern in diesem Fall das Haftenbleiben der Pulverteilchen an den Wänden der Zelle und halten das Pulver zwischen den Steuerelektroden. Alle Elektroden sind von einer elektrisch isolierenden Schicht 23 überzogen. Da das zu modulierende Licht auch bei einer gekapselten Zelle durch den Zwischenraum der Steuerelektroden gelenkt wird, müssen die Begrenzungselektroden entweder transparent 21, z.B. Indium-Zinkoxid (ITO) oder so strukturiert 22 sein, dass das Licht durch sie nicht blockiert wird. Ebenso muss die Isolierschicht 23 und das Substrat, auf dem sich die Begrenzungselektrode in diesem Fall befindet, aus einem transparenten Material bestehen. Auch bei der gekapselten Zelle ist die Anzahl und die geometrische Form und Anordnung der Elektroden von der jeweiligen Anwendung abhängig, so dass sich auch SLMs realisieren lassen.

Natürlich lassen sich auch verschiedene oder identische Modulationszellen in Reihe oder parallel schalten, um bestimmte Modulationsergebnisse zu bekommen, insbesondere läßt sich durch das Parallelschalten ein zweidimensionaler SLM realisieren.

Die Dimensionen der Modulationszelle und der Pulverteilchen sind abhängig von der jeweiligen Anwendung, insbesondere von der Schaltgeschwindigkeit, die man erreichen

möchte. Je kleiner die Dimensionen, desto schneller lässt sich das granulare Gas schalten und somit das Licht modulieren und desto geringer ist die benötigte Spannung, um das granulare Gas zu erzeugen. Typische Abstände der Elektroden z , in Abbildung 1, liegen im Bereich von 1 mm bis 0,1 mm und typische Spannungen zum Erzeugen des granularen Gases liegen zwischen 1000V und 50V. Die geometrischen Dimensionen der Steuer- und Begrenzungselektroden können im Bereich von Mikrometern aber auch Zentimetern liegen und sind abhängig von der gewünschten Lichtmodulation.

Die Modulationszellen lassen sich beispielsweise leicht durch photolithographische Prozesse herstellen, welche besonders geeignet sind, auch kleine Strukturen zu schreiben. Dabei wird die Struktur der Elektroden auf einer metallbeschichteten Glasplatte 25 erzeugt, wie in Abbildung 5 zu sehen. Diese Abbildung zeigt eine der Möglichkeiten, wie sich die Modulationszelle der Abbildung 2 realisieren ließe. Die Steuerelektrode 26, (7, 9 in Abb.2) und die Begrenzungselektrode 27 (8, 10 in Abb.2) können separat mit einer Spannung versorgt werden. Die optionale, dünne Isolierschicht 28 (11 in Abb.2) kann gesputtert, aufgedampft oder in Form gelöster Polymere durch spin-coating aufgebracht werden. Zwei dieser Glasplatten werden dann durch einen Spacer separiert und können nach Einbringen eines geladenen Pulvers als Modulationszelle genutzt werden.

Das Material, aus dem das Pulver zwischen den Steuerelektroden besteht, ist prinzipiell beliebig, es kann sich dabei um ein leitendes, halbleitendes oder nicht leitendes Material handeln. Die einzige Bedingung ist, dass die einzelnen Teilchen zur Erzeugung des granularen Gases eine elektrische Überschussladung tragen müssen, da sie sonst nicht bewegt werden können. Die Wahl des Pulvermaterials und der Teilchengröße ist jedoch wesentlich für die Eigenschaften der Modulationszelle, insbesondere in Bezug auf den Extinktionskoeffizienten bei einer bestimmten Wellenlänge und der Geschwindigkeit, mit der das granulare Gas ein- beziehungsweise abgeschaltet werden kann.

Die elektrische Aufladung des Pulvers kann vor Einbringen des Pulvers in die Modulationszelle geschehen, unter bestimmten Bedingungen aber auch in der Zelle direkt. Besteht das Pulver aus einem schlecht- oder nichtleitenden Material, so kann eine der Elektroden unisoliert sein (d_1 oder d_2 gleich Null in Abb. 1), und die Aufladung des Pulvers kann direkt über eine der Steuerelektroden erfolgen. Die Aufladung des schlecht leitenden Pulvers dauert längere Zeit (Minuten bis Stunden), aber die Pulverteilchen halten ihre Ladung auch lange und geben sie nur langsam wieder ab.

22.03.03

- 7 -

In Abbildung 6 ist diese Aufladung schematisch dargestellt. Die Pulverteilchen 29 werden auf der unisolierten Steuerelektrode 30 durch die Spannung U in diesem Beispiel positiv geladen, und sobald sie genügend Ladung aufgenommen haben, bewegen sie sich im elektrischen Feld 31 zur isolierten Elektrode 32 und bleiben dort haften 33. Nach Aufladung des Pulvers kann eine variierende Spannung angelegt und ein granulares Gas erzeugt werden. Da das Pulver schlecht leitend ist, lädt es sich beim Kontakt mit der unisolierten Elektrode nicht um, sondern behält die positive Ladung.

Bei einem leitenden Pulvermaterial funktioniert dieses Verfahren nicht. Es könnte zwar schneller geladen werden, das granulare Gas würde aber aus einem Gemisch von positiv und negativ geladenen Teilchen bestehen, da das Pulver bei Kontakt mit der unisolierten Elektrode sofort die Polarität annimmt, die die Elektrode in diesem Moment besitzt. Ein granulares Gas, das beide Polaritäten enthält, lässt sich jedoch nicht mehr ohne weiteres kontrollieren. Ausserdem besteht bei einem leitenden Pulver und nicht isolierten Elektroden die Gefahr eines elektrischen Durchschlags, welcher die Modulationszelle zerstören würde.

Durch eine zusätzliche Ladungselektrode in der Modulationszelle ist jedoch sowohl bei leitendem und nicht leitendem Pulver eine Aufladung auch später möglich. Die Abbildung 7 zeigt den Schnitt durch eine Modulationszelle mit den beiden Steuerelektroden 34, 35, Isolierschichten 36, Pulver 37 und mit zusätzlicher Ladungselektrode 38. Durch das Anlegen der Spannung U_L an die Ladungselektrode und einer darauf abgestimmten Spannungen U_7 und U_8 an die Elektroden wird eine elektrische Ladung auf die Ladungselektrode und das Pulver übertragen. Nach der Aufladung wird die Ladungselektrode von der Spannungsquelle isoliert, was zum Beispiel durch ein Relay 39 geschehen kann, so dass das Pulver nicht wieder entladen werden kann. Danach kann die Zelle zur Lichtmodulation genutzt werden. Durch die Ladungselektrode 38 kann die Ladung der Pulverteilchen verändert oder aufgefrischt werden.

Die Erfindung betrifft aus einem Verfahren zur Modulation von Licht durch ein kontrolliertes granulares Gas. Dieses granulare Gas entsteht aus geladenen Pulverteilchen und wird innerhalb einer Modulationszelle durch elektrostatische Kräfte erzeugt und kontrolliert. Die Kräfte werden dabei von einer Anzahl von Elektroden ausgeübt, an die jeweils getrennt eine zeitlich variierende Spannung angelegt wird. Die sogenannten Steuerelektroden dienen zur Erzeugung des granularen Gases und die Begrenzungs-

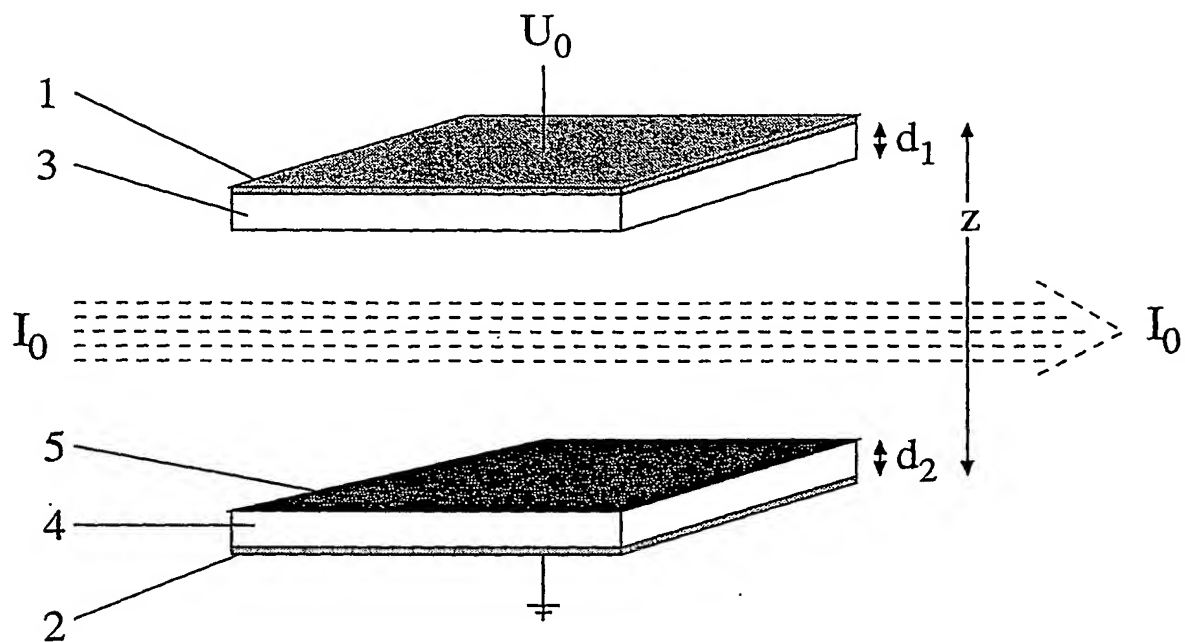
22.03.03

- 8 -

elektroden verhindern ein Entweichen des Pulvers aus der Modulationszelle. Durch die geometrische Anordnung der Elektroden ist es möglich, die Zelle in einzelne Pixel zu unterteilen, die unabhängig von einander geschaltet werden können. Die räumliche Dimension, sowie die Anzahl und die geometrische Anordnung der Elektroden ist abhängig von der jeweiligen Anwendung und der erwünschten Lichtmodulation. Die elektrische Aufladung der Pulverteilchen geschieht vor dem Einbringen des Pulvers in die Modulationszelle, oder je nach Material des Pulvers, durch eine unisolierte Steuerelektrode oder durch eine zusätzliche, nicht isolierte Elektrode.

Abbildung 1

(A)



(B)

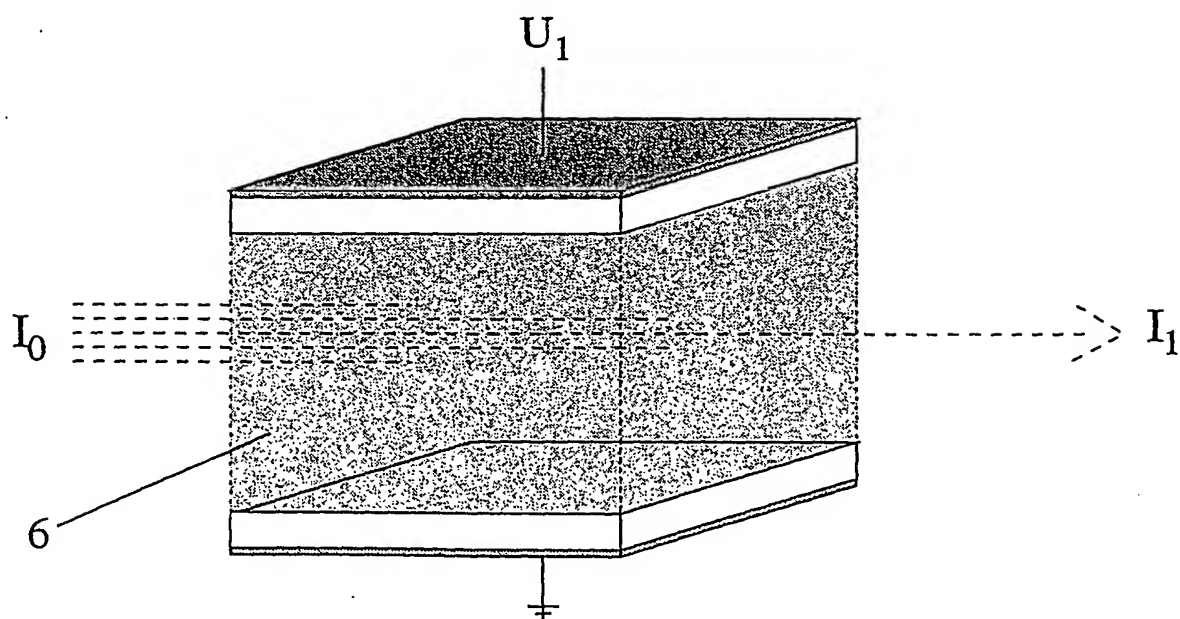


Abbildung 2

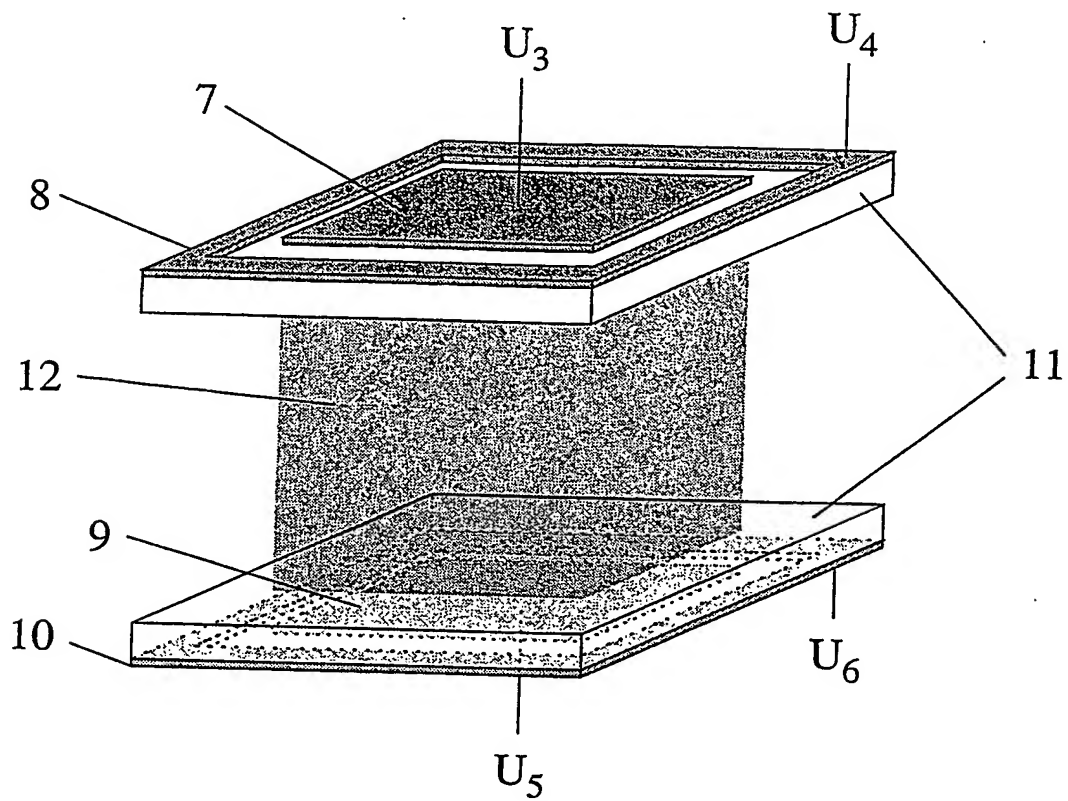


Abbildung 3

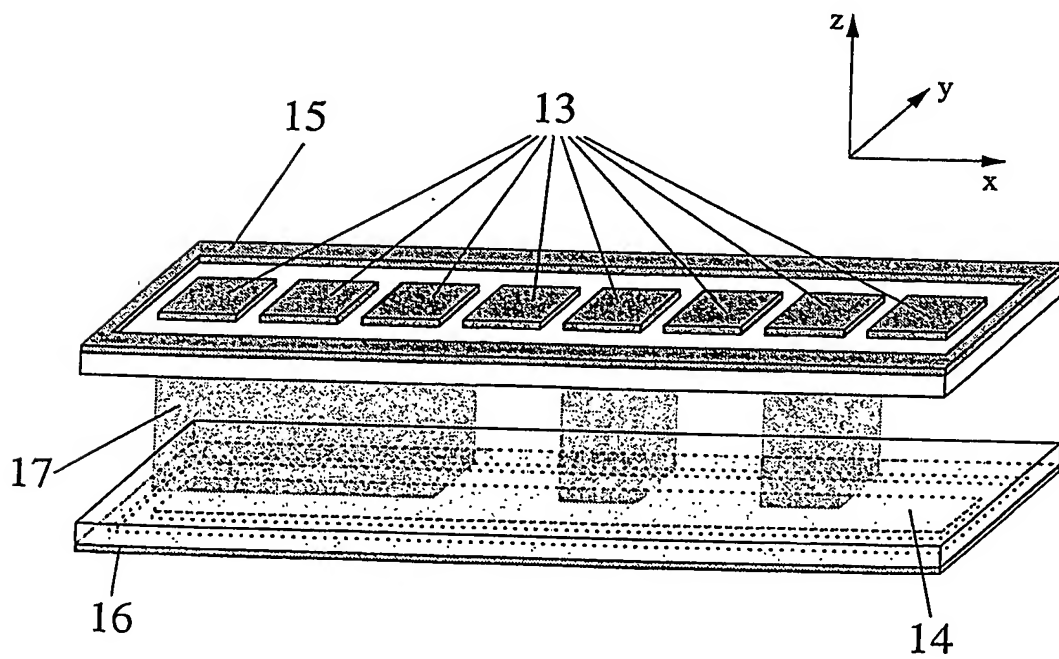


Abbildung 4

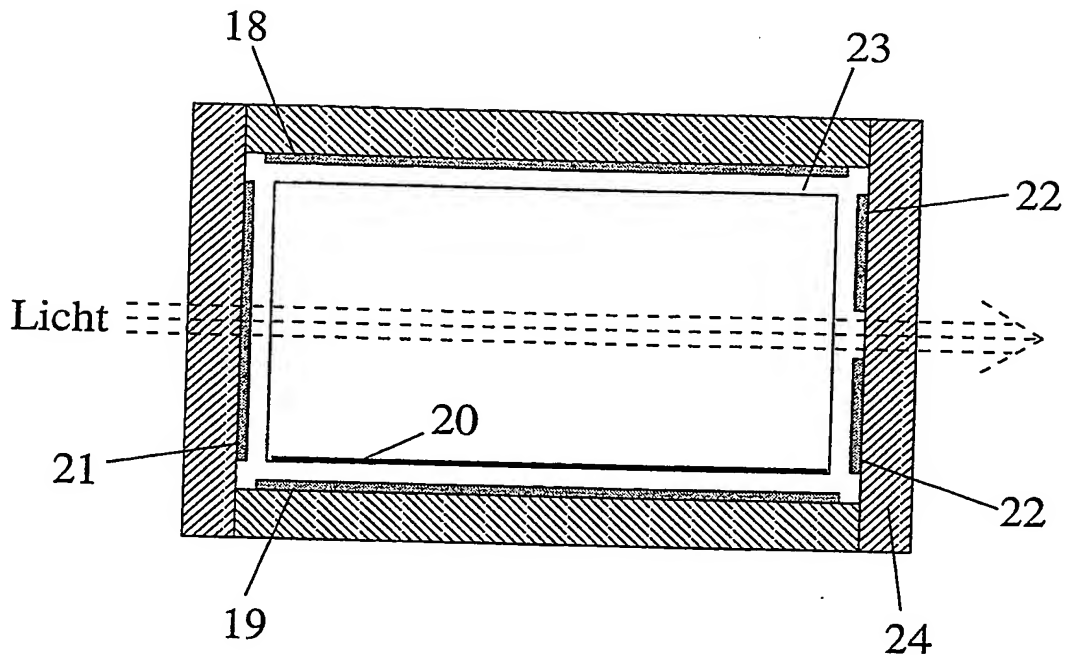


Abbildung 5

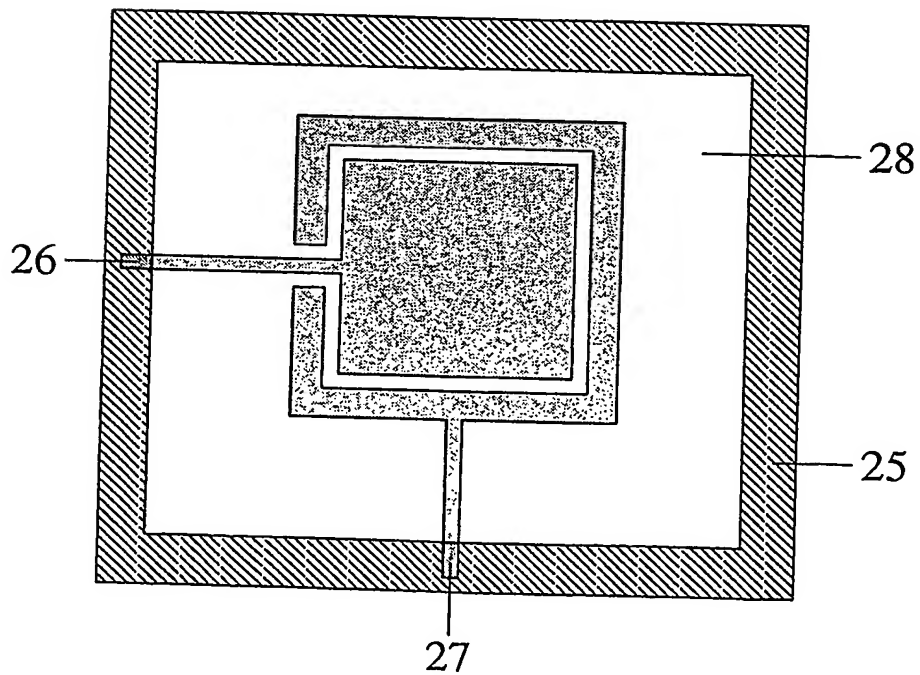


Abbildung 6

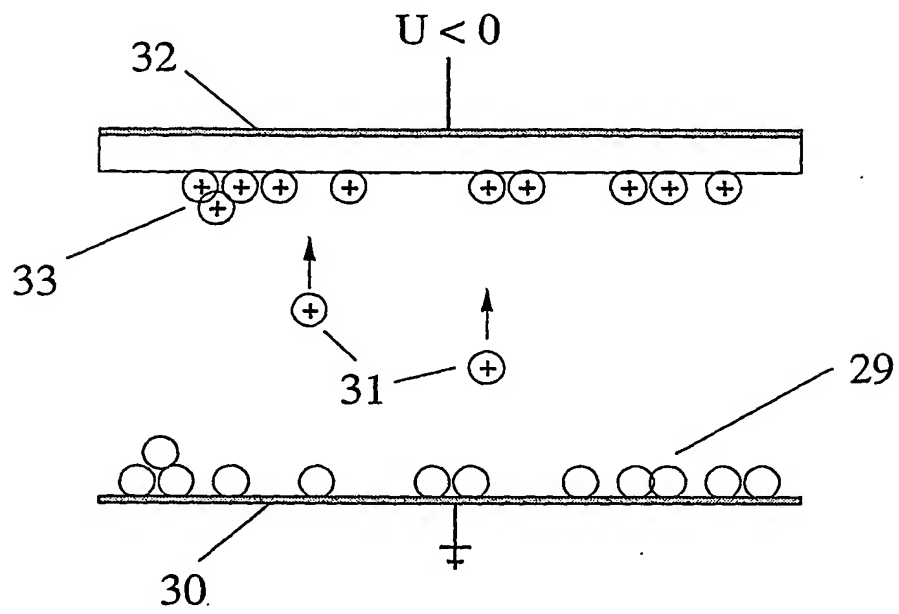


Abbildung 7

